

# ADAPTACIÓN Y PATH-DEPENDENCE EN DINÁMICA INDUSTRIAL.

Cesáreo Hernández Iglesias<sup>1</sup>, Javier Pajares Gutiérrez<sup>1</sup>, Adolfo López Paredes<sup>1</sup>.

E.T.S.I.I. Valladolid, Pso del Cauce s/n –47011-Valladolid.

[cesareo@dali.eis.uva.es](mailto:cesareo@dali.eis.uva.es)

[pajares@dali.eis.uva.es](mailto:pajares@dali.eis.uva.es)

[adlo@dali.eis.uva.es](mailto:adlo@dali.eis.uva.es)

## RESUMEN

*Los fenómenos path-dependence y los mecanismos de aprendizaje son reconocidos como fundamentales en la explicación de la dinámica industrial. Sin embargo, la economía industrial ha sido incapaz, hasta ahora, de caracterizar de forma suficientemente adecuada ambos aspectos. En este trabajo, ofrecemos una posible aproximación desde la economía evolucionista y los sistemas multiagente, cuyo valor práctico demostramos mediante un modelo de dinámica industrial que reproduce los comportamientos sectoriales habituales que muestra la evidencia empírica.*

**Palabras Clave:** Dinámica Industrial, Economía Evolucionista, Sistemas Multiagente, Aprendizaje.

## 1. Hacia nuevas líneas de investigación en dinámica industrial.

Tradicionalmente, el estudio de los fenómenos que caracterizan la dinámica de los sectores industriales ha sido abordado como una continuación de la teoría micro-económica ortodoxa, rica en modelos de equilibrio y problemas de maximización. Este estilo de razonamiento ha fructificado en una serie de modelos matemáticos vistosos y elegantes. Sin embargo, al partir de un agente económico que posee información y racionalidad casi perfectas, los modelos resultantes pierden realismo.

Pero además de lo anterior, los planteamientos neoclásicos tienen dificultades para explicar y modelar ciertos fenómenos característicos de los sectores industriales, como:

- La heterogeneidad y diversidad de empresas y de comportamientos empresariales, pues la mayoría de los modelos parten de una empresa “tipo representativa”.
- El fenómeno del aprendizaje empresarial apenas es considerado, cuando, en la práctica, es clave para que las compañías adquieran nuevos conocimientos que les permitan adaptarse mejor a su entorno y sobrevivir.
- Los llamados fenómenos de dependencia histórica (*path-dependence*), en los que el orden en el que se producen los acontecimientos determina la evolución futura del sistema. En muchas ocasiones, hechos fortuitos condicionan dramáticamente el futuro; en otras, pequeñas ventajas competitivas iniciales de unas empresas sobre otras crean diferencias a medio plazo irreversibles.

- El papel de la innovación como motor del cambio y del desarrollo económico: En muchos planteamientos neoclásicos, la innovación y la ola de imitaciones que siguen no pasan de ser meras externalidades (Iwai [2])

Para poder explicar todos estos fenómenos, han aparecido en las últimas décadas nuevas líneas de investigación, como son la Economía Evolucionista, la Economía Experimental o la Teoría de Juegos, todas ellas con aplicaciones en dinámica industrial, y en las que subyace una filosofía y una visión que reconoce la racionalidad limitada de los agentes económicos, así como el carácter imperfecto de la información disponible.

En este artículo proponemos analizar los problemas de dinámica industrial utilizando herramientas de simulación que permiten descubrir el comportamiento agregado de los sectores a partir de los comportamientos individuales que las empresas que los integran.

Imaginemos que tuviésemos una *maqueta* poblada por empresas y consumidores en *miniatura*, en la que pudiésemos *experimentar y observar* cómo evoluciona el conjunto cuando introducimos o eliminamos empresas que tienen uno u otro comportamiento. ¿Nos permitiría este *juguete* entender mejor algunos comportamientos industriales complejos? ¿Podría ayudarnos a diseñar políticas industriales? Es este trabajo sentamos las bases metodológicas que nos permiten construir tal tipo de modelos.

## **2. Modelado evolucionista cognitivo.**

Nuestra aproximación puede entenderse como una extensión del modelado evolucionista, heredera en gran parte de los postulados formulados por Nelson y Winter [7] en la década de los ochenta. Pero además, integramos aspectos fundamentales de la psicología y la ciencia cognitiva, para poder trabajar así con agentes económicos (empresas) que aprenden a tomar sus decisiones de forma realista. Por último, recurrimos a la inteligencia artificial distribuida, y en concreto a los sistemas multiagente, para obtener herramientas de simulación suficientemente potentes que nos permitan poner en práctica nuestro estilo de modelado.

La Economía Evolucionista constituye una forma de pensar alternativa al mecanicismo científico-económico, que pone su énfasis en el concepto de heterogeneidad y en los procesos de selección que premian a los agentes económicos mejor adaptados. También hace suyo el concepto de racionalidad limitada y otorga al aprendizaje el papel que ignoraron los modelos neoclásicos. Por ello, proporciona un marco teórico adecuado para explicar, entre otros fenómenos, la diversidad de comportamientos empresariales, la existencia de múltiples estados de equilibrio, e incluso, la no consecución de equilibrio alguno.

Siguiendo la tradición de los primeros trabajos de Nelson y Winter (op.cit), la Economía Evolucionista ha sido capaz de reconocer la validez de la simulación con ordenador como herramienta totalmente lícita para el análisis económico, ampliando así las posibilidades de investigación.

Las Ciencia Cognitiva estudia los procesos de aprendizaje y los procesos cognitivos. Evidentemente, no es nuestro propósito llegar a ser expertos en ciencia cognitiva; simplemente deseamos rescatar los principios esenciales que nos permitan modelar agentes económicos que tomen sus decisiones y aprendan de una forma más realista. En concreto,

hemos considerado la importante distinción entre conocimiento declarativo y procedimental. Mientras que el primero es aquel conocimiento que podemos transmitir verbalmente, el procedimental no puede transmitirse con palabras, siendo solamente observable cuando lo pone en práctica un individuo que lo posee. En cierta medida, el conocimiento procedimental recoge el conocimiento tácito y guía gran parte de las decisiones humanas en entornos con acusada incertidumbre. Por ello, nuestro estilo de modelado integra agentes económicos que exhiben ambos tipos de conocimiento.

Para construir los modelos, utilizamos sistemas multiagente, metodología enmarcada dentro de la Inteligencia Artificial Distribuida. Un agente inteligente es un dispositivo hardware o un sistema software que, situado en un determinado entorno, es capaz de exhibir comportamiento autónomo flexible. (Jennings, Sycara y Wooldridge [3]). Por su parte, un sistema multiagente es aquel que comprende un número de agentes autónomos, heterogéneos e independientes, interaccionando entre sí y con el entorno, cada uno con sus propias metas y objetivos. La tecnología de agentes está siendo aplicada con éxito en campos tan distintos como los sistemas de fabricación o el diseño y construcción de agentes móviles en Internet. Su idoneidad para abordar problemas sociológicos y económicos mediante simulación fue categóricamente puesta de manifiesto en López-Paredes [5].

Con respecto al modelado evolucionista en dinámica industrial, los sistemas multiagente permiten que el diseñador del modelo se concentre en programar los comportamientos individuales de los agentes que integran el sistema (empresas y consumidores), siendo responsabilidad del sistema generar su propia evolución agregada.

Dentro de los lenguajes de simulación multiagente, hemos elegido el SDML (Strictly Declarative Modelling Language), desarrollado en el Centre for Policy Modelling de la Universidad de Manchester. Las características específicas de este lenguaje se encuentran en Moss et al [6]. Se trata de un lenguaje estrictamente declarativo y basado en reglas, es decir, los agentes son programados introduciendo directamente las reglas de comportamiento que les caracterizan.

### **3. Un modelo de ciclo de vida industrial.**

Para ilustrar la validez del estilo de modelado propuesto, hemos diseñado un modelo de ciclo de vida industrial, en el que, a lo largo del tiempo, pueden aparecer nuevas empresas al mismo tiempo que desaparecen aquellas que se adaptan peor a su entorno. Una descripción completa del modelo puede examinarse en Pajares [8].

Las empresas están caracterizadas por el volumen de sus activos, su capacidad de producción máxima, sus políticas iniciales de I+D y su objetivo de rentabilidad, que es función de las exigencias de los accionistas.

En cada período existen dos productos en el mercado: uno más novedoso y tecnológicamente más avanzado, y otro más anticuado. Cuando aparece una ulterior innovación debido a que alguna o varias empresas han innovado, la demanda del más obsoleto desaparece. Los productos y las tecnologías están íntimamente relacionados, de forma que cada nuevo producto se fabrica con una tecnología distinta. La demanda de cada producto está representada por una recta que se desplaza hacia la derecha y se hace más elástica con el tiempo.

Las empresas tratan de producir la cantidad máxima que pueden vender en el mercado, en función de sus costes de fabricación y siempre que no excedan su capacidad máxima de producción.

Siguiendo la nomenclatura habitual en modelos de ciclo de vida industrial, distinguimos entre innovación de producto y de proceso. La primera conduce a productos novedosos, mientras que el éxito en la segunda se traduce en mejoras de los procesos productivos; en nuestro caso reducciones de los costes de fabricación. Tras remunerar convenientemente a los accionistas, las empresas pueden destinar los recursos disponibles a invertir en I+D de proceso y de producto. También es posible adquirir las nuevas tecnologías, en caso de que una empresa no haya sido capaz de desarrollarla y desee estar presente en el mercado asociado al nuevo producto.

El éxito en I+D de proceso depende de los fondos destinados a tal fin, mientras que para modelar el acierto en I+D de producto hemos diseñado un sistema basado en la competición evolucionista entre tecnologías emergentes, que tiene como objetivo determinar qué tecnología de todas (la ganadora) se impondrá definitivamente en el mercado, y qué empresas la desarrollarán. El mecanismo utilizado tiene en cuenta que no siempre triunfa la tecnología superior, ni siquiera la que ha sido respaldada con mayores recursos económicos, como así sugiere la evidencia empírica.

Las empresas tienen memoria de los resultados de sus decisiones pasadas, así como una idea de las estrategias empleadas por sus competidoras. El aprendizaje cognitivo y el conocimiento procedimental es modelado mediante los sistemas de endorsement propuestos por Cohen [4], al que añadimos los procesos cognitivos de explotación del conocimiento ya existente a situaciones análogas, la imitación de comportamientos de otros agentes y la exploración de nuevas estrategias.

Las decisiones más importantes que deben tomar las empresas a lo largo del tiempo son las siguientes:

- Entrada en el sector, que depende de su atractivo (rentabilidad promedio) y de que la empresa candidata posea recursos propios suficientes para acceder a la tecnología existente.
- Cartera de productos: Deben decidir si producir el producto antiguo y el novedoso, así como la proporción entre ambos.
- Políticas de I+D: Deciden si invertirán en I+D de proceso y de producto, así como las cantidades destinadas a cada uno de estos apartados, que varían con el tiempo debido al proceso de aprendizaje.
- Abandonar el sector: Si una empresa no consigue sus objetivos de rentabilidad y piensa que no existen perspectivas de mejora, entonces cierra.

#### **4. Validación del modelo: El papel de la innovación como motor del cambio industrial.**

Tal como se refleja en Klepper [4], la evidencia empírica nos enseña que gran parte de los sectores industriales muestran una serie de regularidades empíricas que afectan al número de empresas, a la concentración y a ciertos patrones de evolución de los gastos en I+D. Por ello, la validez de nuestro modelo y en consecuencia, la utilidad del estilo de modelado propuesto

pasa por reproducir dichos comportamientos agregados. Tras realizar numerosas simulaciones, hemos obtenido resultados satisfactorios, y en lo que sigue mostraremos algunos de los más sobresalientes, con simulaciones realizadas bajo tres escenarios distintos.

#### 4.1. Primer escenario. Sólo innovación de proceso.

Calibramos el modelo para que no acontezcan innovaciones de producto. Obtenemos así modelos similares a los diseñados por Nelson y Winter [7]. En las figuras 1 y 2, mostramos la evolución del número de empresas que conforman el sector y los números equivalentes Herfindahl para cuatro simulaciones. Como sugiere la evidencia empírica, tras alcanzar un máximo, el número de productores disminuye hasta estabilizarse, aumentando la concentración sectorial a largo plazo.

En la figura 3, observamos que las cuotas de mercado de las principales empresas se estabilizan a largo plazo. Más aún, hemos comprobado que aquellas compañías que obtienen pronto éxito en I+D de proceso y reducen sus costes, aumentan sus cuotas de mercado con respecto a sus competidoras, y estas diferencias competitivas se mantienen aun cuando las otras empresas inviertan posteriormente grandes sumas en I+D. Por tanto, el momento en que tienen lugar las innovaciones condiciona la evolución posterior del sistema (fenómeno de dependencia histórica o *path-dependence*).

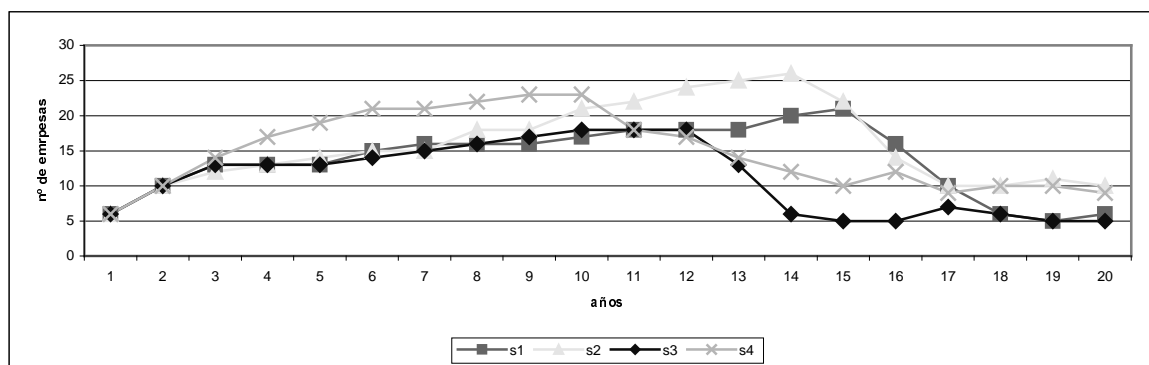


Figura 1. Primer escenario. Evolución del número de empresas del sector.

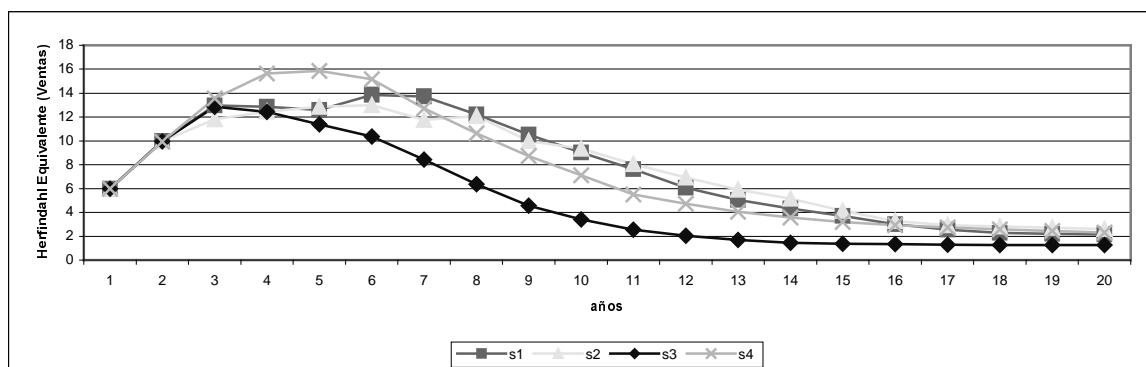


Figura 2. Primer escenario. Números equivalentes Herfindahl.

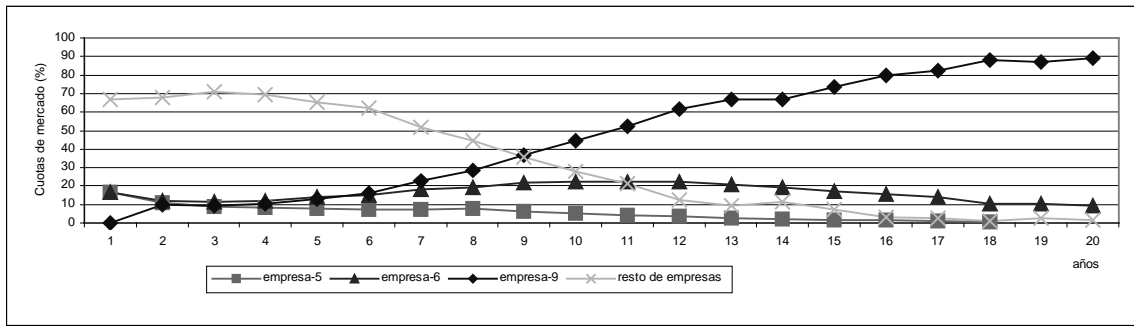


Figura 3. Primer escenario. Cuotas de mercado de la principales empresas.

#### 4.2. Segundo escenario. Innovación de proceso y producto.

Se trata del caso más realista. La evidencia empírica nos enseña que una gran proporción de innovaciones de producto tienen lugar en los primeros estadios de la vida del sector. Por ello, hemos calibrado el modelo en consecuencia, con el propósito de observar si se cumplen el resto de los patrones de comportamiento sectoriales. La figura 4 nos muestra como los números equivalentes Herfindahl tienden también hacia números pequeños a largo plazo. Sin embargo, en las primeras fases del sector, los niveles de concentración son mucho más volátiles que en el caso anterior. Esto es debido al proceso de renovación que tiene lugar en la industria: mientras algunas empresas deben abandonar al no adaptarse a los cambios, aparecen otras nuevas, atraídas por las altas rentabilidades que ofrece un sector con nuevos productos tecnológicamente más avanzados. No obstante, a largo plazo, las cuotas de mercado de las principales empresas también se estabilizan (figura 5).

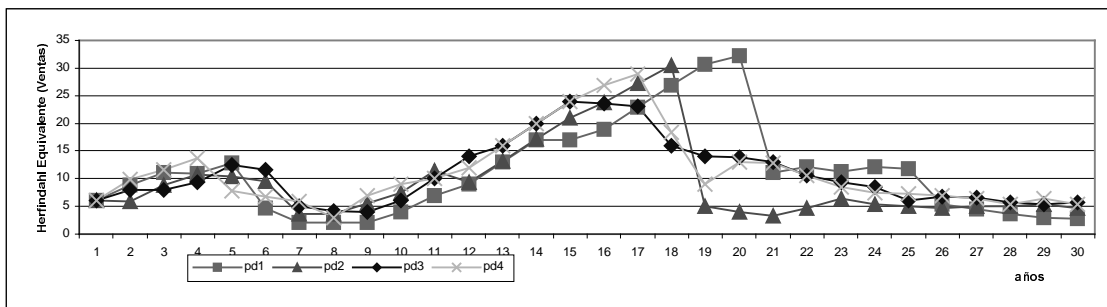


Figura 4. Segundo escenario. Números equivalentes Herfindahl.

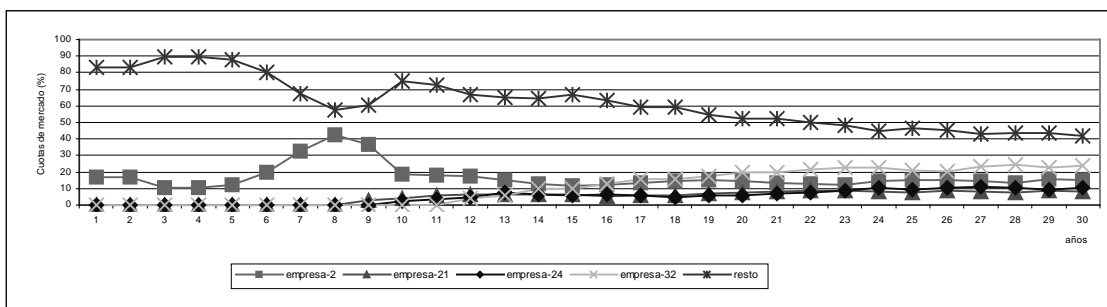


Figura 5. Segundo escenario. Las cuotas de mercado de las principales empresas se estabiliza.

En las figuras 6 y 7 representamos los gastos promedios de la industria en I+D de producto y proceso respectivamente. En ambos casos se reproducen las regularidades empíricas expuestas en Klepper [4]. En las primeras fases del sector, las empresas aprenden que las ventajas competitivas provienen de obtener nuevos productos, y por ello aumentan las inversiones que persiguen tal objetivo. Sin embargo, cuando las tecnologías se estabilizan, las compañías aprenden que ahora la competitividad es consecuencia de mejorar los procesos y reducir costes.

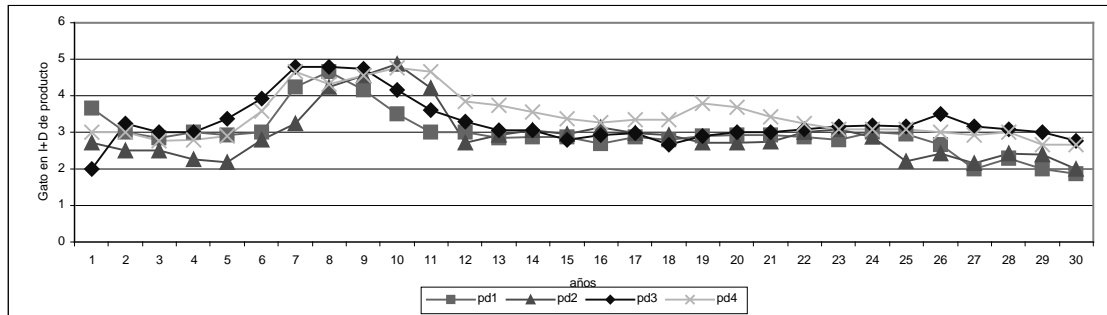


Figura 6. Segundo escenario. Gasto promedio en I+D de producto.

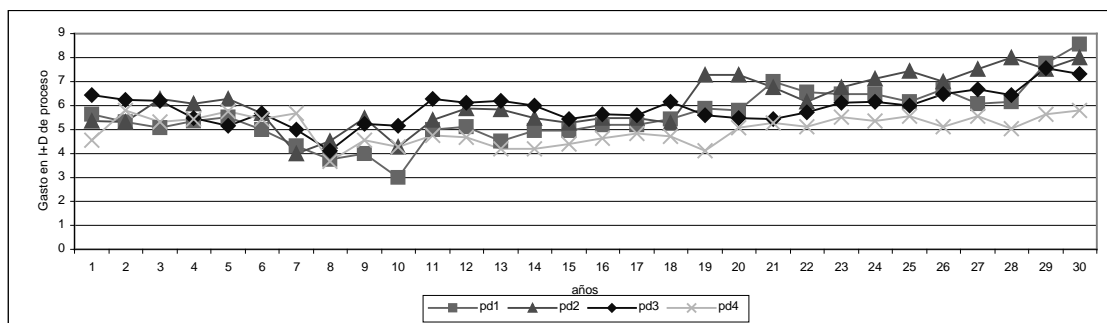


Figura 7. Segundo escenario. Gasto promedio en I+D de proceso

### 4.3. Tercer escenario. Innovación en sectores estables.

Por último, hemos calibrado el modelo para que aparezca una innovación de producto en una fase estable del sector (año 15). Podemos comprobar en la figura 8, como ahora los niveles de concentración empresarial apenas se ven alterados. Nuevamente, el momento en que se produce la innovación tiene influencia en la evolución posterior del sector (*path-dependence*).

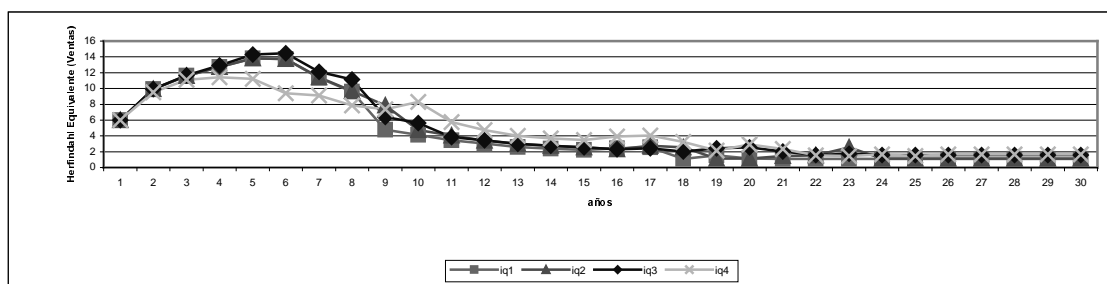


Figura 8. Tercer escenario. Los equivalentes Herfindahl apenas se alteran.

## 5. Conclusiones.

Hemos presentado un estilo de modelado útil para reproducir, entender y explicar fenómenos de dinámica industrial. Integramos en una misma metodología la tradición evolucionista y algunos hechos probados del aprendizaje cognitivo; implementamos los modelos por medio de técnicas provenientes de la inteligencia artificial distribuida, como la tecnología de agentes.

Hemos construido un modelo de ciclo de vida industrial que reproduce las regularidades empíricas observadas en gran parte de los sectores industriales, y todo ello a partir de los comportamientos de las empresas que integran el sector, compañías que cambian sus decisiones a lo largo del tiempo con el fin de adaptarse a su entorno y ganar ventajas competitivas.

En particular, los fenómenos de *path-dependence*, de incómodo tratamiento bajo la óptica de la economía ortodoxa, emergen de forma natural en nuestro modelo, sin haber sido programados a priori: El momento en que se producen tanto las innovaciones de producto como las de proceso tienen consecuencias en la evolución posterior del sector, afectando a largo plazo, tanto a las cuotas de mercado de las mayores empresas como a la propia evolución de los niveles de concentración sectorial.

## Agradecimientos.

Deseamos agradecer al profesor Solé Parellada la sugerencia de utilizar la expresión conocimiento *procedimental* en lugar del anglicismo *conocimiento prodedural*.

## Referencias

- [1] Cohen, P.R. (1985): *Heuristic Reasoning: An Artificial Intelligence Approach*. Pitman Advanced Publishing Program, Boston.
- [2] Iwai, K. (1984): "Schumpeterian Dynamics: An Evolutionary Model of Innovation and Imitation". *Journal of Economic Behavior and Organization*, 5(2), pp: 159-90.
- [3] Jennings, N.R., Sycara, K. y Wooldridge, M. (1998): "A Roadmap of Agent Research and Development", *Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, 1, pp: 7-38.
- [4] Klepper (1996): "Entry, Exit, Growth, and Innovation over the Product Life Cycle". *American Economic Review*, 86(3), pp: 562-583.
- [5] López Paredes, A. (2000): Análisis e Ingeniería de las Instituciones Económicas. Tesis Doctoral. *Departamento de Organización de Empresas. ETS de Ingenieros*. Universidad del País Vasco.
- [6] Moss, S., Gaylard, H., Wallis, S. y Edmonds, B. (1998): "A Multi-Agent Language for Organisational Modelling". *Computational & Mathematical Organisation Theory*, vol 4(1), pp: 43-49.
- [7] Nelson, R.R y Winter, S.G. (1982): *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Harvard.
- [8] Pajares, J. (2001): Modelos Evolucionistas en Dinámica Industrial: un Enfoque Cognitivo. Tesis Doctoral, *Departamento de Organización de Empresas. ETS de Ingenieros*. Universidad del País Vasco.